



はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

多段階のプレーヤーの 意思決定に基づくサプライチェーン全体の 在庫量変動に関する考察

大谷 和樹

富山県立大学 情報工学基盤講座

November 21, 2018



はじめに

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

発表の流れ

- I はじめに
- II サプライチェーン
- III モデルの決定
- IV 各プレーヤーの意思決定
- V モデル構築
- VI 分析結果
- VII おわりに



サプライチェーン

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

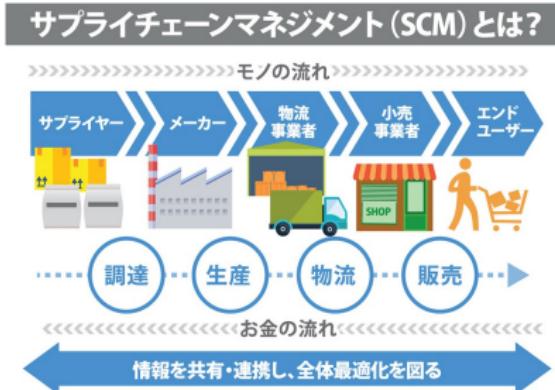
各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

サプライチェーンとは、企業の経営・管理で使用する用語で、原材料・部品の調達から、製造、在庫管理、販売、配送までの製品の全体的な流れのことである。Gopal and Cahill (1992) はサプライチェーン・マネジメント（以下、SCM と略す）の主要な取り組みは、サプライチェーン内部の利害を調整しながら、サプライチェーン内部のトレードオフをコントロールすることであるとしている。



Lee et al. (1997) は SCM が抱える最大の課題の一つとして、ブルウェイップ効果を挙げている。彼らはその原因をサプライチェーン内部の多段階で行われる意思決定に起因する情報の歪みとその增幅プロセスであるとしている。



モデルの決定

サプライチェーンを、上流から、メーカー（協力企業含む）、卸売り、小売り（消費者含む）の3段階に区分けして考える。

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

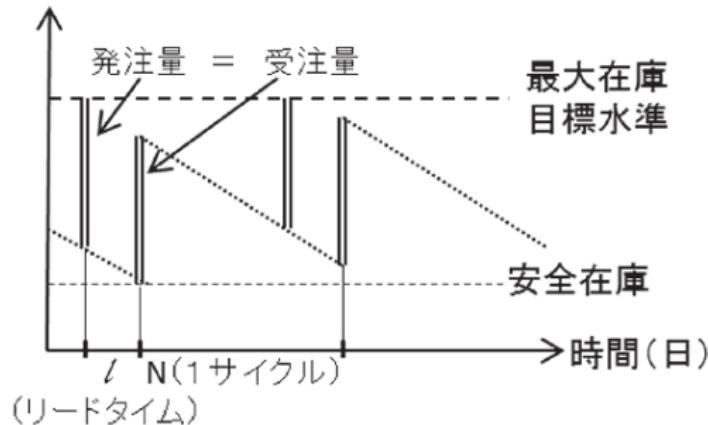
各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

在庫水準



各プレーヤーは、売れ残りと品切れから発生する損失およびリードタイムを考慮しながら、発注目安（T）を設定し、特定の間隔で発注するとする。



各プレーヤーの部分最適による意思決定 (I)

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

小売りや卸売りの場合、粗利益の総額から品切れコストや在庫コストなどの費用を控除した額を最大にするように、安全在庫を含む在庫水準や発注間隔などを決定する。発注間隔を N 日、そして商品の注文から受領までのリードタイムを L 日とする。さらに、 $(N + L)$ 日間の需要を q 、発注目安を T とした場合、品切れ確率 (β) は次の式 (1) のように表される。

$$\beta = \int_T^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(q - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dq \quad (1)$$

T : 最大在庫目標水準で $(N + L)$ 間の需要予測に安全在庫を加えたもの

q : $(N + L)$ 日間の需要 μ : q の平均値 σ : q の標準偏差



各プレーヤーの部分最適による意思決定 (I)

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

発注間隔（N日）や商品の注文から受領までのリードタイム（L日）を所与として、最適なTは以下の数式(2)で表されるΠを最大化する値を求めるこことによって特定することができる。

$$\begin{aligned}\Pi = & (1 - \beta)(p - c)q - \beta[(p - c)T - s(q - T)] \\ & - (N + L)\left(\frac{N}{N + L} \times \frac{q}{2} + k\sigma\sqrt{N + L}\right)h\end{aligned}\quad (2)$$

p : 販売価格 c : 仕入れ価格 s : 一個当たりの品切れコスト k : 安全係数 h : 製品一個の一日当たり保管コスト

粗利益の総額から品切れコストと在庫の保管費用を控除したものを最大化するように、kを設定することによって、Tやβも特定することができる。

小売りや卸売りの段階では、製造工程は含まれないので、小売りと卸売りの最大化の方法は基本的に同じ構造となる。数多くの小売りからの注文を集約しているのが卸売りであるので、小売りから卸売りへの注文量（需要）の期待値は小売りの需要の販売量の総和となる。各小売り間の需要が独立であると仮定した場合、卸売りへの注文の分散は、各小売りの分散の総和となる。



各プレーヤーの部分最適による意思決定 (II)

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

工場では、在庫管理活動に加えて、製造工程が含まれるので、設備投資、従業員の採用・訓練、原材料の調達（リードタイム）、加工時間など、小売りや卸売りとは異なる要素が含まれるようになる。工場が保持している完成品在庫には、サイクル在庫や安全在庫に加えて、少ない段取り回数やロットサイズの大きさから生じる過剰な在庫が含まれることになる。したがって、 $(N + L)$ 日間の在庫調整期間における製造コストを加味したものとして、工場側の利潤は次の式 (3) として表現できる。

$$\begin{aligned}\Pi = & (1 - \beta)(p - c)q - \beta[(p - c)T' - s(q - T')] \\ & - \left(\frac{Nq}{2} + (N + L)k\sigma\sqrt{N + L} \right)h - [f + v(n)]q\end{aligned}\quad (3)$$

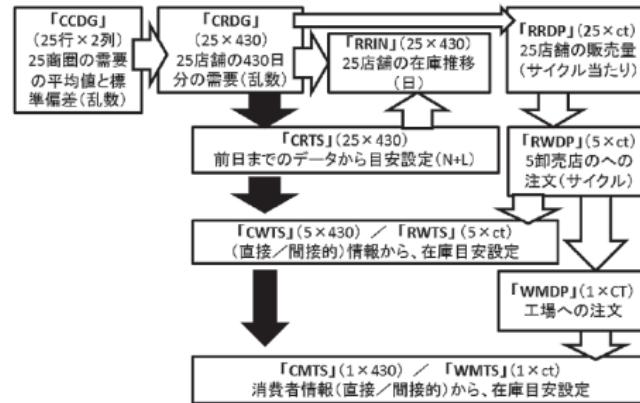
f : 製品一個当たり固定費の配賦額 $v(N)$ は製品一個当たりの変動費用（段取り費用含む）
 T' : ロットサイズの端数分だけ T より大きくなる。

数多くの卸売りからの注文を集約しているのが工場であるので、卸売りから小売りへの注文量（需要）は卸売りの需要の販売量の総和となる。各卸売り間の需要が独立であると仮定した場合、工場への注文の分散は、各卸売りの分散の総和となる。



R統計ソフトによるモデル構築

はじめに
サプライチェーン
モデルの決定
各プレーヤーの意
思決定
モデル構築
分析結果
おわりに



左側の2つのアルファベットがC（消費者）、R（小売り）、W（卸売り）、M（工場）の組み合わせであり、川上から川下までのどの部分での出来事かを示している。そして右半分が項目の説明で、IN（在庫）と TS（在庫目安）を意味し、D（需要）に付随するものは、G（乱数）、S（サンプル）、O（注文）、P（サイクル）を意味する。最適な危険係数（K）は、数式（2）から求めるべきであるが、そのために多くの仮定が必要となるので、その過程を省略して、最適な危険係数（K）を 2.33（品切れ確率 1%）とする。さらに、サイクルタイム（N）は 3 日、リードタイム（L）は 1 日とし、サプライチェーンの各プレーヤーは同期して活動を行うものとする。



分析結果(I)

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

在庫目安の設定が注文時に重要な働きをするので、理想的な在庫目安に到達するまでの時間とプロセスに注目する。CRTS は前日までの消費の購入情報に基づいて、在庫目安を日々更新していくものである。以下の表では、CRDG から 430 日分のデータを基に算出した理想的な在庫目安の $\pm 5\%$ 範囲内に収まり続けるようになった最初の日数が示されている。25 件の小売りの中で、17 件ほどがサンプル対象期間の 10 日以内に収まるようになったが、残りの 8 件は収まっていなかった。RRIN は、140 回のサイクル (420 日) 中に小売りの保有する在庫水準の最大と最小値を示している。

商圏	CRDG (430日分の需要情報)			RRDP (140回分)			CRTS			RRIN (140回)		
	平均値	標準偏差	在庫目安	平均値	標準偏差	理論値	±5%内	最大	最小	最大	最小	
小売店 (1)	111.6	11.0	497.6	334.6	18.3	497.6	6	394	83			
小売店 (2)	108.8	12.8	494.7	326.1	20.2	494.7	32	426	119			
小売店 (3)	93.1	7.7	407.9	279.0	12.8	407.9	3	332	93			
小売店 (4)	117.4	6.9	502.1	352.3	12.7	502.1	5	377	93			
小売店 (5)	94.1	8.4	415.3	282.0	14.1	415.3	3	337	93			
小売店 (6)	94.8	10.3	427.1	284.4	17.9	427.1	7	320	64			
小売店 (7)	88.1	8.3	390.8	264.2	14.8	390.8	4	350	108			
小売店 (8)	103.3	5.7	439.5	309.7	9.6	439.5	3	359	110			
小売店 (9)	94.8	9.1	421.7	284.4	16.1	421.7	10	336	84			
小売店 (10)	91.9	7.6	403.2	276.0	13.5	403.2	9	326	93			
小売店 (11)	89.0	12.9	416.0	266.9	21.5	416.0	11	342	53			
小売店 (12)	91.3	7.3	399.4	273.9	12.7	399.4	3	341	105			
小売店 (13)	86.6	13.4	408.9	260.0	22.6	408.9	17	378	115			
小売店 (14)	101.6	13.1	467.2	304.0	21.1	467.2	13	395	101			
小売店 (15)	109.0	8.4	475.2	327.5	14.6	475.2	24	411	130			
小売店 (16)	97.3	5.4	414.3	291.9	9.2	414.3	3	337	108			
小売店 (17)	92.8	14.1	437.0	278.2	25.9	437.0	10	328	31			
小売店 (18)	105.1	12.5	478.9	315.4	23.9	478.9	7	344	31			
小売店 (19)	100.3	12.7	460.4	301.0	20.1	460.4	4	452	153			
小売店 (20)	104.5	5.1	442.0	313.9	8.2	442.0	5	311	67			
小売店 (21)	79.6	13.2	380.0	238.6	23.9	380.0	18	351	97			
小売店 (22)	98.6	8.5	434.3	296.1	15.6	434.3	20	292	32			
小売店 (23)	89.7	11.0	410.1	269.1	19.2	410.1	8	327	45			
小売店 (24)	92.5	5.5	395.5	277.6	10.1	395.5	5	276	46			
小売店 (25)	104.9	10.8	470.2	315.2	19.8	470.2	16	388	97			
合計	2,440.7		10,889.1	7,321.8								

※在庫目安は4 (N=3, L=1) 日分の在庫目標



分析結果 (II)

はじめに
サプライチェーン
モデルの決定
各プレーヤーの意思決定
モデル構築
分析結果
おわりに

次の表の上段は卸売りレベルで集約した一サイクル当たりの需要と在庫目安の推移を示したものである。CWTS は消費者の前日までの購買情報を共有して在庫目安を算出したものであるのに対し、RWTS は小売りから集約されたサイクル単位からの注文から在庫目安を算出したものである。最新の情報に更新するためには、一期遅れが生じ、さらに標準偏差を算出するのに少なくとも 2 つ以上のデータが必要であるので最短でも 3 日あるいは 3 回となる。

	RWDP (140回)			在庫目安	CWTS(日)	RWTS(回)
	平均値	最大	最小	理論値	± 5 %範囲内 (以降)	
卸売り(1)	1,574	1,664	1,463	2,200	3	3
卸売り(2)	1,419	1,499	1,340	1,978	3	3
卸売り(3)	1,432	1,547	1,326	2,028	5	4
卸売り(4)	1,500	1,648	1,378	2,112	5	3
卸売り(5)	1,397	1,486	1,287	1,967	3	5
RWDP (140回)			在庫目安	CMTS(日)	RMDS(回)	
工場	平均値	最大	最小	理論値	± 1 %範囲内 (以降)	
工場	7,322	7,510	7,121	9,997	8	3

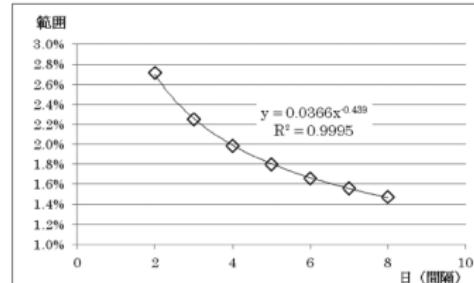


分析結果 (III)

はじめに
サプライチェーン
モデルの決定
各プレーヤーの意思決定
モデル構築
分析結果
おわりに

次の表では、工場レベルでは、生産活動や調達時間などによって、最適な生産間隔が異なる場合があるので、生産間隔が1日～1週間（リードタイム1日を考慮して2～8日）の場合の更新される在庫目安を理論値で除したものの推移を比較したものである（%で表記）。サイクル間隔が長くなればなるほど、理論値付近で安定的に推移することになる。また、次の図は工場レベルでのサイクル間隔と在庫目安の幅を示したものである。

CMTSs	理論値	最大	最小	範囲
2日 (N=1)	5046	100.8%	98.1%	2.7%
3日 (N=2)	7523	100.7%	98.5%	2.2%
4日 (N=3)	9995	100.7%	98.7%	2.0%
5日 (N=4)	12463	100.6%	98.8%	1.8%
6日 (N=5)	14929	100.6%	98.9%	1.7%
7日 (N=6)	17392	100.6%	99.0%	1.6%
8日 (N=7)	19854	100.6%	99.1%	1.5%





おわりに

はじめに

サプライチェーン

モデルの決定

各プレーヤーの意
思決定

モデル構築

分析結果

おわりに

ブルウップ効果は、サプライチェーン内の多段階のプレーヤーが各自にとって最適なバッチサイズや発注間隔などを設定することによって、需要情報の歪みが生じ、その歪みがサプライチェーンを遡りながら増幅されていく現象であると説明されることが多い。しかし、各プレーヤーは最適なサイクル（発注間隔）を設定しているので、彼らの抱える需要をサイクル単位で捉える必要がある。

本研究では、安定した需要下で、適正なマネジメントを行っていれば、ブルウップ効果の悪影響がほとんど表面化しないことを確認した。しかし、今後は、ブルウップ効果を検証するために、需要に周期性やトレンドなどを付与するかあるいはサプライチェーン内部のマネジメントの問題として歪みや遅れを想定し、更なる研究を進める予定である。